

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

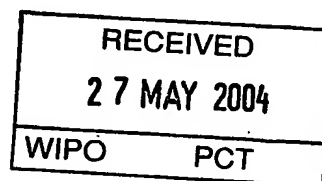
01.4.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日      2 0 0 3 年   4 月   4 日  
Date of Application:

出 願 番 号      特 願 2 0 0 3 - 1 0 1 1 9 5  
Application Number:  
[ST. 10/C]:      [J P 2 0 0 3 - 1 0 1 1 9 5]



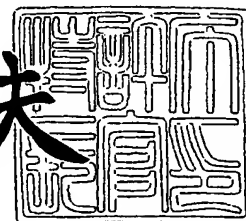
出 願 人  
Applicant(s):      日本精工株式会社  
                              N S K ステアリングシステムズ株式会社

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年   5 月 1 3 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 NSK0255

【提出日】 平成15年 4月 4日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B62D 6/00  
B62D 5/04

【発明の名称】 モータ駆動制御装置および電動パワーステアリング装置

【請求項の数】 7

【発明者】

    【住所又は居所】 群馬県前橋市鳥羽町 7 8 番地   NSKステアリングシステムズ株式会社内

    【氏名】           タ   カオ   ミン

【発明者】

    【住所又は居所】 群馬県前橋市鳥羽町 7 8 番地   NSKステアリングシステムズ株式会社内

    【氏名】           江   春浩

【発明者】

    【住所又は居所】 群馬県前橋市鳥羽町 7 8 番地   NSKステアリングシステムズ株式会社内

    【氏名】           小林   秀行

【特許出願人】

    【識別番号】       000004204

    【氏名又は名称】   日本精工株式会社

【特許出願人】

    【識別番号】       302066629

    【氏名又は名称】   NSKステアリングシステムズ株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100078776

【弁理士】

【氏名又は名称】 安形 雄三

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100114269

【弁理士】

【氏名又は名称】 五十嵐 貞喜

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100093090

【弁理士】

【氏名又は名称】 北野 進

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 010836

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】

モータ駆動制御装置および電動パワーステアリング装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 3以上の相を有するブラシレスDCモータの相電圧または線間電圧を検出する電圧検出回路と、前記モータの電流を検出する電流検出回路と、前記相電圧または線間電圧と前記電流と前記モータの巻線抵抗値と巻線インダクタンス値とから前記モータの各相逆起電圧を算出する各相逆起電圧検出回路と、前記各相逆起電圧の内の最大値となる逆起電圧を検出して前記モータのロータの角速度 $\omega$ を算出する角速度算出回路と、前記角速度 $\omega$ からロータの電気角 $\theta$ を算出するロータ位置推定回路とを備えたことを特徴とするモータ駆動制御装置。

【請求項2】 前記モータのロータの電気角 $\theta_0$ を離散的に検出するロータ位置検出センサを備え、前記ロータの算出された電気角 $\theta$ を前記ロータの検出された電気角 $\theta_0$ によって修正するロータ位置推定回路を備えた請求項1に記載のモータ駆動制御装置。

【請求項3】 前記算出された電気角 $\theta$ と前記検出された電気角 $\theta_0$ との誤差 $\Delta\theta$ から前記巻線抵抗の温度変化による抵抗変化分 $\Delta R$ を算出するロータ位置推定回路を備えた請求項1又は請求項2に記載のモータ駆動制御装置。

【請求項4】 前記抵抗変化分 $\Delta R$ から前記巻線の温度変化分 $\Delta T$ を算出するロータ位置推定回路を備えた請求項1乃至請求項3のいずれかに記載のモータ駆動制御装置。

【請求項5】 前記温度変化分 $\Delta T$ または前記抵抗変化分 $\Delta R$ を用いて、前記ロータの算出された電気角 $\theta$ を修正するロータ位置推定回路を備えた請求項3又は請求項4に記載のモータ駆動制御装置。

【請求項6】 前記電流検出回路の入力又は出力にローパスフィルターを設置したロータ位置推定回路を備えた請求項1に記載のモータ駆動制御装置。

【請求項7】 請求項1乃至請求項6のいずれかに記載のモータ駆動制御装置が用いられる電動パワーステアリング装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、電動パワーステアリング装置に用いられるモータのロータ位置推定回路を備えたモータ駆動制御装置の改良に関する。

**【0002】****【従来の技術】**

従来、電動パワーステアリング装置に使用されるモータの駆動制御方式、例えばブラシレスDCモータの駆動制御方式として、ロータの回転位置に基づいて、モータ駆動制御装置からインバータを介して回転磁界を発生させ、ロータの回転を駆動制御させるようにした制御方式が採用される。すなわち、この制御方式は、ステータ内部に所定角度の間隔で配された複数の励磁コイルに、ロータ位置に応じて制御回路によって各励磁コイルの励磁を順次切り換えることにより、ロータの回転駆動を制御するようになっている。

**【0003】**

ブラシレスDCモータの駆動制御方式として良く使用されるベクトル制御は、例えば特許文献1などに開示されている。図11は、電動パワーステアリング装置に用いられるモータの駆動制御装置を示す回路構成である。

**【0004】**

同図において、モータの制御指令値を決定する指令電流決定部51から、PI制御部52、2相／3相座標変換部53、PWM制御部54、インバータ55を介してモータ56に至る指令信号の主経路が形成されている。また、インバータ55とモータ56との間に電流センサ57が配され、該電流センサ57で検出された信号を、指令電流決定部51とPI制御部52との間に配された減算回路58にフィードバックさせるフィードバック経路が形成されている。このフィードバック経路には、3相／2相座標変換部59が配されている。

**【0005】**

この制御系により、指令電流決定部51では、トルクセンサで検出されたトル

クから算出された指令値  $T_{ref}$  や、位置検出センサ 11 で検出されたロータの位置を示す電気角  $\theta$  と電気角速度  $\omega$  を受け、指令電流  $I_{dref}$ 、 $I_{qref}$  が決定される。この指令電流  $I_{dref}$ 、 $I_{qref}$  は、それぞれ、電流センサ 57 で検出された後、フィードバック経路の 3 相 / 2 相座標変換部 59 で 2 相に変換されたフィードバック電流によって補正される。すなわち、フィードバック電流  $I_d$ 、 $I_q$  と、電流指令値  $I_{dref}$ 、 $I_{qref}$  との誤差が、減算回路 58 で演算される。その後、PI 制御部 52 で、PWM 制御のデューティを示す信号が  $d$ 、 $q$  成分の形で  $V_d$ 、 $V_q$  として算出され、2 相 / 3 相変換部 53 によって、 $d$ 、 $q$  成分から、各相成分  $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$  に逆変換される。そして、インバータ 55 は、指令値  $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$  に基づいて PWM 制御され、モータ 56 にインバータ電流が供給されてモータ 56 の回転を制御するようになっている。

#### 【0006】

なお、61 は車速センサ回路で、62 は感応領域判定回路で、63 は係数発生回路で、64 は基本アシスト力計算回路で、65 は戻し力計算回路で、66 は電気角変換で、67 は角速度変換で、68 は非干渉制御補正值計算である。

#### 【0007】

このベクトル制御の場合、トルク指令値  $T_{ref}$  および  $\omega$ 、 $\theta$  に基づいて電流指令値  $I_{dref}$ 、 $I_{qref}$  が決定される。また、モータのフィードバック電流  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  が  $I_d$ 、 $I_q$  に変換され、その後、 $I_d$  および  $I_q$  と、 $I_{dref}$  および  $I_{qref}$  との誤差が演算され、その誤差が PI 制御による電流制御を実行することによってインバータへの指令値  $V_d$ 、 $V_q$  が求められる。そして、 $V_d$ 、 $V_q$  の指令値が再び 3 相の指令値  $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$  に逆変換されインバータ 55 が制御され、モータ 56 の駆動制御を行うようになっている。

#### 【0008】

このようなベクトル制御を用いた場合、ロータ位置  $\theta$  を正しく検出ができない状態で、モータ制御するとモータのトルクリップルが大きくなり、電動パワーステアリング装置としてはハンドルの操舵に振動などの違和感を感じたり、モータ騒音が大きいなどの好ましくない現象が発生する。そのため、ロータの位置  $\theta$  を正しく検出するために、特許文献 2 にも記載があるように、ロータ位置検出セン

サ 1 1 として、高価であるが検出精度の良いレゾルバやエンコーダを用いる必要がある。

#### 【0009】

そこで、安価なロータ位置検出センサであるホールセンサを用いて、モータ制御を試みる例もある。例えば、特許文献 3 に開示されているように、モータの PWM 制御に用いる正弦波を発生させる位相の起点や途中点を補正するためにホールセンサの信号を利用している。しかし、この例では、次のホールセンサ信号が得られるまでの間の途中区間のロータの回転角度  $\theta$  までは算出しておらず、エンコーダなどのロータ位置検出の代りの検出器までは至っていない。

#### 【0010】

また、エンコーダなどの検出精度の良い検出器でもロータの回転速度が低速になるとエンコーダから得られる検出点数が少なくなり、ロータの位置検出精度がおちる問題がある。そこで、非特許文献 1 に開示されているように、モータ負荷の慣性モーメントとモータ電流を用いて、この精度悪化の改善を図っているが、慣性モーメントとモータ電流から求められた角加速度から角速度  $\omega$  を算出するまでに積分があり、そして、角速度  $\omega$  からロータの電気角  $\theta$  を算出するまでにも積分があり、積分を 2 回使用するため計算精度が悪く、また、モータが駆動する負荷の慣性モーメントを正しく決定することも困難なので実用的には問題があった。

#### 【0011】

さらに、モータのトルクリップルを大きくする要素としてモータの温度変化も、その一要素となる。つまり、ロータの電気角  $\theta$  を算出するときにモータの逆起電圧を使用するようなロータ位置推定回路を利用していると、その逆起電圧を算出するために用いるモータの抵抗やインダクタンスの値が温度変化によって変化し、その温度変化による抵抗等の修正をしないと、結果的に、ロータの電気角  $\theta$  を精度良く算出することができなくなり、トルクリップルが大きくなる問題もある。温度変化を考慮したモータの抵抗値算出例として特許文献 4 に開示例があるが、モータの回転速度が 0 であるなどの特殊条件が課せられている。

#### 【0012】

## 【特許文献1】

特開 2001-18822 号公報 (第 3 頁、図 1)

## 【0013】

## 【特許文献2】

特開 2001-187578 号公報 (第 2 頁、図 2)

## 【0014】

## 【特許文献3】

特開 2002-272163 号公報 (第 3 頁、図 1、図 3)

## 【0015】

## 【特許文献4】

特許第 3104865 号明細書 (第 2 頁、図 2)

## 【0016】

## 【非特許文献1】

セオング ホ ソン (Seung-Ho-Song), 交流電動機の低速制御のための速度オブザーバ (An Instantaneous Speed Observer for Low speed Control of a c Machine)、学会誌 IEEE 応用パワーエレクトロニクス 1998 年大会 (IEEE APEC' 98)、P-581-586

## 【0017】

## 【発明が解決しようとする課題】

上述したように、ベクトル制御を用いてモータを制御するためには、モータのロータ位置を正しく検出する必要があるが、レゾルバやエンコーダは高価な部品であるために電動パワーステアリング装置を安価に製作するときの障害となる。また、レゾルバやエンコーダの高精度ロータ位置検出センサを用いても、モータの低速域では正しくロータ位置を検出できない問題があった。さらに、モータの温度変化がよってもロータ位置の検出精度が悪くなる問題もあった。

## 【0018】

そこで、本発明の目的は、上記諸点に鑑み、安価なロータ位置検出センサを用



いるにも関わらず、正しくロータ位置を算出でき、また、モータの低速域やモータの温度変化があってもロータ位置を精度良く算出できるロータ位置推定回路を備えたモータ駆動制御装置を提供し、さらに、正しく算出されたロータ位置を備えたモータ駆動制御装置を用いて、モータのベクトル制御を正しく実行することにより、緊急避難などのハンドルの高速切替え操舵であっても、ハンドル操舵に違和感のない、安価な電動パワーステアリング装置を提供することにある。

#### 【0019】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明は、ブラシレスDCモータのモータ駆動制御装置および電動パワーステアリング装置に関するものであり、本発明の上記目的は、3以上の相を有するブラシレスDCモータの相電圧又は線間電圧を検出する電圧検出回路と、前記モータの電流を検出する電流検出回路と、前記相電圧又は線間電圧と前記電流と前記モータの巻線抵抗値と巻線インダクタンス値とから前記モータの各相逆起電圧を算出する各相逆起電圧検出回路と、前記各相逆起電圧の内の最大値となる逆起電圧を検出して前記モータのロータの角速度 $\omega$ を算出する角速度算出回路と、前記角速度 $\omega$ からロータの電気角 $\theta$ を算出するロータ位置推定回路とを備えることによって達成される。また、前記モータのロータの電気角 $\theta_0$ を離散的に検出するロータ位置検出センサを備え、前記ロータの算出された電気角 $\theta$ を前記ロータの検出された電気角 $\theta_0$ によって修正するロータ位置推定回路を備えることによって、また、前記算出された電気角 $\theta$ と前記検出された電気角 $\theta_0$ との誤差 $\Delta\theta$ から前記巻線抵抗の温度変化による抵抗変化分 $\Delta R$ を算出するロータ位置推定回路を備えることによって、また、前記抵抗変化分 $\Delta R$ から前記巻線の温度変化分 $\Delta T$ を算出するロータ位置推定回路を備えることによって、また、前記温度変化分 $\Delta T$ または前記抵抗変化分 $\Delta R$ を用いて、前記ロータの算出された電気角 $\theta$ を修正するロータ位置推定回路を備えることによって、また、前記電流検出回路の入力又は出力にローパスフィルターを設置したロータ位置推定回路を備えることによって、より効果的に達成される。

#### 【0020】

**【発明の実施の形態】**

本発明は、大きく4つの発明より成り立っており、その概要について説明する。

**【0021】**

第1の発明は、モータの電圧、電流を検出し、その電圧値、電流値とモータの巻線抵抗 $R$ および巻線インダクタンス $L$ から各相の逆起電圧を算出し、その逆起電圧値からロータの角速度 $\omega$ や電気角 $\theta$ を算出するものである。

**【0022】**

第2の発明は、第1の発明で算出した電気角 $\theta$ に算出誤差がある場合、その誤差が累積して、算出した電気角 $\theta$ は誤差が大きくなりすぎて実用には適さなくなる。しかし、モータにはロータの電気角を検出できるホールセンサなどのロータ位相検出センサが数個取り付けられているので、第1の発明で算出した電気角 $\theta$ をホールセンサで数点検出した電気角 $\theta_0$ で修正することが可能で、その修正点毎に誤差はリセットされるので誤差は累積することはない。例えば、ホールセンサ3個で、モータが4極であれば検出される電気角 $\theta_0$ は、0, 60, 120, 180, 240, 300度の6点が検出できる。電気角 $\theta_0$ は連続的には検出できないが、離散的に、この例では60度ごとには検出できる。そこで、仮に算出された電気角 $\theta$ が検出された電気角 $\theta_0 = 60$ 度の時点で仮に65度であれば、この60度相当の区間で電気角の算出誤差が5度発生したことになるが、次の60度から120度の区間の電気角 $\theta$ の算出には、 $\theta$ の初期値として65度ではなく60度を代入して新たに算出し、誤差の累積は防止できる。

**【0023】**

第3の発明は、第2の発明を改良するものである。第2の発明では、ホールセンサで検出する電気角 $\theta_0$ は連続的には得られず、60度ごとのように離散的にしか得られないので、60度毎に電気角の誤差を修正できるが、その間、例えば、0度から60度の間に発生する誤差は修正できない。そこで、第3の発明では、この区間の電気角の誤差は、電流、電圧の検出誤差或いはインダクタンス値の変化によっても発生するが、最も影響が大きいのは、モータ巻線の温度変化による抵抗値変化によるものである。そこで、その巻線抵抗値の変化分を算出し、そ

の抵抗変化分を第1の発明の巻線抵抗Rの値にフィードバック修正して、電気角 $\theta$ を算出することにより、第3の発明で算出する電気角の誤差は、第2の発明で発生する電気角の誤差より小さくすることができる。

#### 【0024】

第4の発明は、第3の発明で求めた温度変化による巻線抵抗の変化量から、逆に変化した温度の変化量を算出できる。

#### 【0025】

以上が、本発明の概要である。次に、発明の理論的説明を行い、その後に各実施例について説明する。

#### 【0026】

第1の発明の理論について図1を用いて説明する。以下の説明で、モータの電圧として相電圧 $V_a$ 、 $V_b$ 、 $V_c$ を検出する例について説明するが、電圧が線間電圧 $V_{ab}$ 、 $V_{bc}$ 、 $V_{ca}$ であっても成立する。後の実施例では相電圧の場合、線間電圧の場合の両方の実施例を示す。電圧の他に検出されるものとしてモータの電流 $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ があり、検出しないものとして、モータの巻線抵抗 $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$ およびインダクタンス $L_a$ 、 $L_b$ 、 $L_c$ はモータの特性から求めることができる。これらの値とモータの各相逆起電圧 $e_a$ 、 $e_b$ 、 $e_c$ の関係は

#### 【数1】

$$e_a = V_a - (R_a + s \cdot L_a) \cdot i_a$$

$$e_b = V_b - (R_b + s \cdot L_b) \cdot i_b$$

$$e_c = V_c - (R_c + s \cdot L_c) \cdot i_c$$

である。ここで、 $s$ はラプラス演算子で、ここでは微分演算 ( $d/dt$ ) を表わしている。

#### 【0027】

一方、ロータの角速度 $\omega$ の算出について説明する。

#### 【0028】

一般的に、モータの逆起電圧 $e$ と角速度 $\omega$ の関係は

$$e = K_e \cdot \omega$$

である。ここで、 $K_e$ はモータの逆起電圧定数 [ $V/rpm$ ] である。

## 【0029】

しかし、上記式はブラシモータの式であり、整流子の無いブラシレスモータでは、各相の逆起電圧  $e_a$ ,  $e_b$ ,  $e_c$  を整流する必要がある。台形波電流、矩形波電流制御では、整流するとは最大値をとることと同一である。

## 【0030】

これを式で表わすと

## 【数2】

$$\omega = 2 \times \{ \max (|e_a|, |e_b|, |e_c|) \} / K_e$$

である。

## 【0031】

ここで、逆起電圧  $e_a$ ,  $e_b$ ,  $e_c$  の波形を図2に示す。整流するとは逆起電圧  $e_a$ ,  $e_b$ ,  $e_c$  の包絡線を取る、つまり最大値をとることである。なお、数2の分子が2倍されるのは、 $e_a$ ,  $e_b$ ,  $e_c$  の絶対値をとることにより、負側の値が正側に重畳されるためである。

## 【0032】

次に、電気角  $\theta$  は次の式から求めることができる。

## 【0033】

## 【数3】

$$\theta = \theta_i + \int \omega dt$$

ここで、 $\theta_i$  は積分区間の初期値である。

## 【0034】

数3を具体的デジタル処理を想定すると

$$\theta = \theta_i + n \cdot \omega \cdot T_s$$

として算出することもできる。ここで、 $n$  は、 $\Delta T_s$  をサンプリング時間  $T_s$  で割ったもので、 $\Delta T_s$  は次のホールセンサ信号を待つ時間であり、図3、図4、図5において、例えば、 $\Delta T_s = T_{120} - T_{60}$  である。よって、 $n = \Delta T_s / T_s$  が成立する。

## 【0035】

以上の理論により電気角  $\theta$  を求めることができる。

## 【0036】

つぎに、第2の発明の理論について、図3、図4を用いて説明する。

## 【0037】

図3は、第1の発明によって算出された電気角 $\theta$ を示している。算出誤差が発生して時間が経過するほど誤差が累積していくことが明らかである。その誤差の量を、例えば、時間 $T_{60}$ では、真値は60度であるのに対し、算出値 $\theta$ は65度である。 $T_0$ から $T_{60}$ の間に5度誤差が発生したことになる。 $T_{120}$ では誤差が累積されて10度になり、算出された電気角 $\theta$ は益々真値から離れた値になる。しかし、例えば4極モータにホールセンサが3個取り付けられていれば、60度ごとに電気角 $\theta_0$ を検出できるので算出した電気角 $\theta$ を修正する事が出来る。その修正の様子を示すのが図4である。第1の発明によって $T_{60}$ において電気角 $\theta$ は65度になるが、検出された電気角 $\theta_0$ によって60度に修正される。

## 【0038】

つまり、 $\theta_i$ に $\theta_0 = 60$ 度を代入修正して

## 【数4】

$$\theta = \theta_0 + \int_{T_{60}}^{T_{120}} \omega_e dt$$

として算出する。

## 【0039】

よって、 $T_{60}$ から $T_{120}$ の間では電気角 $\theta$ の初期値を65度ではなく60度にして算出するので誤差が累積されることはない。例えば、 $T_{120}$ において、第1の発明では $\theta$ が130度であるが、第2の発明を用いると $\theta$ は125度となって誤差が累積することはない。

## 【0040】

第3の発明について、図4および図5を用いて説明する。第2の発明によって、ホールセンサの検出値を用い60度ごとに電気角 $\theta$ を修正できるが、その間は電気角 $\theta$ は誤差を累積している。この間の電気角の誤差を改良するのが第3の発明の目的である。その理論は、算出された電気角 $\theta$ の誤差は、巻線の温度が上昇

し、主に巻線抵抗  $R$  が第 1 の発明で使用した値から変化することによって引起されるものと仮定する。電気角の誤差  $\Delta \theta$  から角速度の誤差  $\Delta \omega$  を求め、さらに、 $\Delta \omega$  から逆起電圧  $\Delta e$  を求め、そして、 $\Delta e$  から巻線抵抗の抵抗変化分  $\Delta R_m$  (ただし、 $m = a, b, c$ ) を求める。そして、第 1 の発明の数 1 の巻線抵抗の  $R_m$  を  $(R_m + \Delta R_m)$  に置き換えて修正した  $R_m$  で電気角  $\theta$  を算出する。

【0041】

これらの内容を式で表わすと、

【数 5】

$$\Delta \theta = \theta - \theta_0$$

から  $\Delta \theta$  を求める。

【0042】

次に、

【数 6】

$$\Delta \theta = n \cdot T_s \cdot \Delta \omega$$

ただし、 $n$  はホールセンサ信号待ち時間  $\Delta T_s$  をサンプリング時間  $T_s$  で割ったものであり、 $n = \Delta T_s / T_s$  が成立する。

【0043】

から  $\Delta \omega$  を求める。次に、

【数 7】

$$\Delta e = \Delta \omega \cdot K_e / 2$$

から  $\Delta e$  が求められる。次に、

【数 8】

$$\Delta R_m = \Delta e / i_m$$

ただし、 $m = a, b, c$

から  $\Delta R_m$  が求められる。そして、抵抗誤差を補正する前のモータ巻線抵抗  $R_m$  (old) に対して、求められた抵抗誤差  $\Delta R_m$  を考慮した正しいモータの巻線抵抗  $R_m$  (new) は

【数 9】

$$R_m(\text{new}) = R_m(\text{old}) + \Delta R_m$$

となる。

#### 【0044】

数9で求めた $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$ を第1の発明の数1に代入し、さらに、第2の発明である電気角 $\theta$ を60度毎に検出した電気角 $\theta_0$ で修正すると、その結果は、例えば、図5に示すようになる。つまり、 $T_{60}$ において、第2の発明の $\theta$ は65度で電気角の誤差は5度あるが、第3の発明の改良を加えると $\theta$ は、例えば、61度と電気角の誤差 $\Delta\theta$ は1度に減少する。誤差が1度残る理由は、温度変化の原因が、厳密には巻線抵抗だけでなく、検出電圧、電流の誤差等が存在するためである。

#### 【0045】

第4の発明に関しては、モータの巻線抵抗の温度係数 $\alpha$  ( $\Omega/^\circ\text{C}$ ) は、材質、形状等から既知なので、巻線抵抗の温度変化分 $\Delta T$ は、

#### 【数10】

$$\Delta T = \Delta R / \alpha$$

として求めることができる。

#### 【0046】

以上が、発明の理論的な説明である。以下、図面に基づいて本発明の好適な実施例について詳細に説明する。

#### 【0047】

第1の発明および第2の発明の実施例について図6および図7を用いて説明する。図6は、本発明が適用される電動パワーステアリング装置用モータ駆動制御装置の全体の制御ブロック図を示している。まず、モータ1は、ブラシレスDCモータで4極の3相モータである。モータ1には図示しないロータがあり、ロータの電気角を検出するロータ位置検出センサとしてのホールセンサ48-1、48-2、48-3が120度ごとに配されている。その結果、モータ1のロータの電気角 $\theta$ は60度間隔で検出することができる。モータ1をトルクリップルが少ないようにベクトル制御するためには、正確なロータの電気角 $\theta$ を正しく算出する必要があり、また、トルク指令値 $T_{ref}$ から電流指令値を算出するためには、ロータの電気角 $\theta$ および角速度 $\omega$ を用いて算出する必要がある。ベクトル制

御回路100で算出された電流指令値 $I_{avref}$ ,  $I_{bvref}$ ,  $I_{cvref}$ を基準値として電流検出回路32-1, 32-2, 32-3から検出された電流 $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$ をフィードバックして減算回路20-1, 20-2, 20-3で誤差電流を求め、その誤差電流を入力とする比例積分回路21によって電圧指令値 $V_{pa}$ ,  $V_{pb}$ ,  $V_{pc}$ を求め、PWM回路30はインバータ31を電圧指令値 $V_{pa}$ ,  $V_{pb}$ ,  $V_{pc}$ に基づいてPWM制御する。以上、説明したようにロータの電気角 $\theta$ および角速度 $\omega$ を正しく求めることはモータ制御に非常に重要である。そして、この電気角 $\theta$ および角速度 $\omega$ はロータ位置推定回路200によって算出される。よって、ロータ位置推定回路200の性能が非常に重要になり、本発明が適用される意義がある。

#### 【0048】

第1の発明と第2の発明をの実施例であるロータ位置推定回路200の詳細な回路図を図7に示す。まず、その構成について説明する。ロータ位置推定回路200の入力として電圧検出回路33-1, 33-2, 33-3で検出されたモータの相電圧 $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$ および検出されたモータ電流 $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$ 、およびホールセンサ48-1, 48-2, 48-3からの検出された電気角 $\theta_0 = 0, 60, 120, 180, 240, 300$ 度である。 $\theta_0$ の取付位置は0度でなくても良く、例えば、ホールセンサ48-1を30度の位置に設置したら $\theta_0 = 30, 90, 150, 210, 330$ 度になる。モータ電流 $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$ は伝達関数回路201-1, 202-2, 202-3に入力される。ここで、伝達関数は、数11として表わされ、理論的説明で使した数1に相当する。

#### 【0049】

##### 【数11】

$$Z = (R_m + s \cdot L_m) / (s \cdot T_f + 1)$$

ただし、 $m = a, b, c$ である。 $s$ はラプラス演算子である。

#### 【0050】

数11の分子は、数1のモータ電流に乗ずるインピーダンス $(R_m + s \cdot L_m)$ である。そして、該インピーダンスに、数1には存在しないローパスフィルタの



伝達関数である  $1/(s \cdot T_f + 1)$  を乗じている。ローパスフィルタを用いる理由は、電流  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  には、ノイズが含まれるので、それを除去するためで、理論的な意味より実用的な意味がある。

#### 【0051】

減算回路 202-1, 202-2, 202-3 にモータ電圧  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  と伝達関数回路 201-1, 201-2, 201-3 の出力とが入力され、差を取ると各相の逆起電圧  $e_a$ ,  $e_b$ ,  $e_c$  が算出される。つまり、数 1 を実行して各相の逆起電圧  $e_a$ ,  $e_b$ ,  $e_c$  を算出したことになる。この実施例では、伝達関数回路 201 と減算回路 202 とで各相逆起電圧検出回路を構成していることになる。例えば、a 相逆起電圧検出回路は伝達関数回路 201-1 と減算回路 202-1 とから構成されている。

#### 【0052】

次に、角速度算出回路 203 に各相の逆起電圧  $e_a$ ,  $e_b$ ,  $e_c$  を入力し、数 2 が実行され、その結果、角速度  $\omega$  が算出される。ここで、角速度算出回路 203 で必要な逆起電圧の最大値算出の方法としては、数 2 に示すように絶対値をとって 2 倍して、逆起電圧  $e_a$ ,  $e_b$ ,  $e_c$  の最大値を算出する方法もあるが、図 2 から判断できるように、電気角  $\theta$  によって、どの相の逆起電圧が最大値になるか決まっているので、ホールセンサ 48 の検出する 60 度毎の電気角  $\theta_0$  を利用して、下記の式から導き出せる。

#### 【0053】

##### 【数 12】

$$\omega = (e_a \times C_a + e_b \times C_b + e_c \times C_c) / K_e$$

ここで、 $C_a$ ,  $C_b$ ,  $C_c$  はコミュレーション（転流）を表わすパラメータであり、台形波、矩形波電流では、「1」、「0」又は「-1」の値を取り、電気角  $\theta_0$  によって、 $C_a$ ,  $C_b$ ,  $C_c$  が「1」になる区間と「0」になる区間と「-1」になる区間が決定されるが、その区間はホールセンサ 48 の検出信号である  $Shall$  によって決定することができる。数 12 を用いて角速度  $\omega$  を算出する場合は、角速度算出回路 203 には、逆起電圧  $e_a$ ,  $e_b$ ,  $e_c$  およびロータ位相検出回路 205 からの電気角  $\theta_0$  信号が入力され、それを基に  $C_a$ ,  $C_b$ ,

Ccが決定され、角速度算出回路203で数12が実行されて、角速度 $\omega$ が算出される。

#### 【0054】

つぎに、角速度 $\omega$ から電気角 $\theta$ を求めるのに利用する電気角算出回路204は数4で示す積分回路であり、角速度 $\omega$ を入力して電気角 $\theta$ を算出できる。

#### 【0055】

これが、第1の発明の実施例であるが、電気角算出回路204で算出された $\theta$ に、誤差がある場合には、その誤差が積分で蓄積されるために、図3で示すような結果になり、正しい電気角 $\theta$ は算出されず実用には適さない。実際の装置では、部品の誤差、温度変化、経年変化、検出誤差など誤差が発生するのが一般的であり、算出された電気角 $\theta$ に誤差が発生するのが一般的である。

#### 【0056】

そこで、第2の発明を用いて、第1の発明の実施で発生する可能性の高い誤差の累積を防止する改良を行う。具体的には、図7のロータ位相検出回路205を用いる。モータ1に設置されたホールセンサ48-1, 48-2, 48-3のホールセンサ信号Shallを入力としてロータの電気角 $\theta_0$ を検出する。出力として $\theta_0 = 0, 60, 120, 180, 240, 300$ 度が出力される。この検出電気角 $\theta_0$ を電気角算出回路204に入力して、数3および数4において初期値 $\theta_i$ を $\theta_0$ でリセットする。この結果、図4に示すように時間T60において、電気角の真値60度に対し算出値 $\theta$ は65度と誤差5度が発生するが、ロータ電気角検出回路205の検出値 $\theta_0 = 60$ 度で算出値 $\theta$ は60度にリセットされるので、次の積分区間、つまりT60からT120の間は初期値 $\theta_i$ を60度として誤差をリセットした状態で計算するので誤差は蓄積されることはない。以下、T120とT180の間の区間などの後の区間も60度ごとに誤差はリセットされ蓄積されることはない。

#### 【0057】

第3の発明の実施例を図8を用いて説明する。

#### 【0058】

図8において、減算回路206において、検出される電気角 $\theta_0$ と当該時点の算

出された電気角  $\theta$  との誤差を求める。例えば、 $T_{60}$  における  $\theta$  と  $\theta_0 = 60$  度との誤差  $\Delta\theta$  を算出する。これは、数 5 を実行することを意味する。次に、誤差角速度検出回路 207 において、数 6 を実行する。つまり、誤差角速度検出回路 207 では  $\Delta\omega = \Delta\theta / (n \cdot T_s)$  を実行して、電気角の誤差  $\Delta\theta$  から角速度の誤差  $\Delta\omega$  が算出される。次に、数 7 を実行するための誤差逆起電圧算出回路 208 によって誤差角速度  $\Delta\omega$  を入力とし、数 7 に従って誤差逆起電圧  $\Delta e$  が算出される。次に、誤差抵抗算出回路 209 では、数 8 に従って、 $\Delta R_m = \Delta e / i_m$  から温度変化による巻線抵抗の抵抗変化分  $\Delta R_m$  が算出される。ここで、 $m = a, b, c$  である。

#### 【0059】

次に、抵抗補正回路 210 において、巻線抵抗  $R_m$  は、誤差抵抗算出回路 209 で算出された  $\Delta R_m$  を考慮した ( $R_m + \Delta R_m$ ) に置き換えられる。最後に、抵抗補正回路 210 で算出された新たな抵抗値  $R_a = R_a + \Delta R_a$ ,  $R_b = R_b + \Delta R_b$ ,  $R_c = R_c + \Delta R_c$  が伝達関数回路 201-1, 201-2, 201-3 の抵抗  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  に代入され、温度変化を考慮した正しい抵抗値を用いて、第 2 の発明で説明した手順に従って、新たに角速度  $\omega$  或いは電気角  $\theta$  を算出する。その結果、図 5 に示すように第 2 の発明では  $T_{60}$  において A 点における  $\theta = 65$  度と誤差 5 度であったものが、第 3 の発明を用いることにより、図 5 に示すように  $T_{60}$  において A' 点における  $\theta = 61$  度となり、誤差が 1 度に改善される。つまり、ロータ位置検出センサが検出する離散的な電気角  $\theta_0$  同士の間の区間の算出電気角  $\theta$  の精度を大幅に改善することができる。

#### 【0060】

次に、第 4 の発明の実施例について図 8 を用いて説明する。

#### 【0061】

図 8 の誤差抵抗算出回路 209 で算出された抵抗変化分  $\Delta R_m$  を変化温度算出回路 211 に入力する。変化温度算出回路 211 では、数 11 に示す温度変化分  $\Delta T = \Delta R_m / \alpha$  を実行して温度変化分  $\Delta T$  を算出することができる。ここで、抵抗変化分  $\Delta R_m$  は  $\Delta R_a$ ,  $\Delta R_b$ ,  $\Delta R_c$  の 3 種類があるので、算出された温度変化分  $\Delta T$  も 3 種類発生する可能性があるが、最大値を利用するか、最小値を利

用するか、或いは平均値を利用するかは、利用対象或いは装置全体を考慮して選択する。例えば、過熱保護に利用するのであれば、安全のために最大値を利用するなどが考えられる。また、温度変化分 $\Delta T$ が判明すれば、初期温度 $T_a$ に $\Delta T$ を加算して巻線抵抗の温度 $T_c = T_a + \Delta T$ も算出可能となる。

#### 【0062】

以上説明した実施例では、図2から明らかなように、角速度算出回路203の出力波形には $e_a$ ,  $e_b$ ,  $e_c$ の整流波形の小さなリップルが重畳される。それを除去するために、角速度算出回路203の後にローパスフィルターを配して、リップルを除去してから電気角速度 $\omega$ として構成する方が実用的である。

#### 【0063】

この考えに基づき構成した変形例を図9を用いて説明する。

#### 【0064】

この変形例のポイントは、角速度算出回路203aの出力にローパスフィルターであるLPF回路212を配したところにある。このLPF回路212の効果により、電気角速度 $\omega$ および電気角 $\theta$ はリップルの含まない信号として算出される。その後の回路構成は、図8の回路構成と同じなので、図8で説明した作用と同じ作用により、誤差角速度 $\Delta \omega$ 、誤差逆起電圧 $\Delta e$ 、誤差抵抗値 $\Delta R_m$ および温度変化値 $\Delta T_m$ が算出される。このLPF回路を付加した構成の場合は、LPF回路無しに比べ、各算出値はリップルによる変動のない安定した値を得ることができる効果がある。

#### 【0065】

以上の説明では、電気角 $\theta$ を求めるために、図1や図7で説明したように電圧としてモータの相電圧 $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$ を用いたが、モータの中性点Nが利用できない場合、モータの線間電圧 $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$ ,  $V_{ca}$ を用いても同じように電気角 $\theta$ などを算出できる。

#### 【0066】

つまり、理論的には、数13を実行すれば良い。

#### 【0067】

#### 【数13】

$$e_{ab} = V_{ab} - [(R_a + s \cdot L_a) \cdot i_a - (R_b + s \cdot L_b) \cdot i_b]$$

$$e_{bc} = V_{bc} - [(R_b + s \cdot L_b) \cdot i_b - (R_c + s \cdot L_c) \cdot i_c]$$

$$e_{ca} = V_{ca} - [(R_c + s \cdot L_c) \cdot i_c - (R_a + s \cdot L_a) \cdot i_a]$$

その実施例を図10に示す。図7と比較すると減算回路202-4, 202-5, 202-6が追加された構成になり、線間電圧 $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$ ,  $V_{ca}$ が入力値となっている。

#### 【0068】

なお、以上の説明では、エンコーダやレゾルバのように分解能の高い位置検出センサの代わりにホールセンサなどの安価だが分解能の低い位置検出センサに適用すると説明したが、分解能の高いエンコーダやレゾルバでもモータの回転速度が低くなると検出サンプル数が少なくなりロータの位置、角速度検出の精度が悪くなるので本発明を適用して精度を良くすることができる。

#### 【0069】

##### 【発明の効果】

以上に説明したように、本発明のモータ駆動制御装置および電動パワーステアリング装置によれば、安価なロータ位置検出センサを用いても、モータの電圧、電流等から算出されるロータの電気角と安価なロータ位置検出センサを組み合わせることにより、モータの低回転速度域も含め、精度の高いロータの電気角或いは角速度を検出でき、さらに、モータ巻線の抵抗値および温度も検出できるモータ駆動制御装置を提供でき、また、電動パワーステアリング装置においては、安価なロータ位置検出センサを用いても精度の高いロータの電気角を検出できるモータ駆動制御装置を用いて、トルクリップルの少ないモータ制御により、ハンドルの急速操舵に滑らかに追従できる安価な電動パワーステアリング装置を提供できる効果がある。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明におけるロータの電気角 $\theta$ の算出に利用する逆起電圧 $e_a$ ,  $e_b$ ,  $e_c$ を

算出する原理を示す図である。

【図 2】

本発明における逆起電圧  $e_a$ ,  $e_b$ ,  $e_c$  からロータの電気角速度  $\omega$  を算出する原理を示す図である。

【図 3】

第 1 の発明による電気角  $\theta$  の算出結果を示す図である。

【図 4】

第 2 の発明による電気角  $\theta$  の算出結果を示す図である。

【図 5】

第 3 の発明による電気角  $\theta$  の算出結果を示す図である。

【図 6】

本発明を適用するモータ駆動制御装置の制御ブロック図である。

【図 7】

第 1 の発明および第 2 の発明の実施例である電気角  $\theta$  を算出するための制御ブロック図である。

【図 8】

第 3 の発明および第 4 の発明の実施例である電気角  $\theta$  を算出するための制御ブロック図である。

【図 9】

本発明の変形例を示す制御ブロック図である。

【図 10】

モータの線間電圧を利用した第 1 の発明の制御ブロック図を示す図である。

【図 11】

従来のレゾルバやエンコーダで検出した電気角  $\theta$  を用いたモータのベクトル制御装置の全体を示す制御ブロック図である。

【符号の説明】

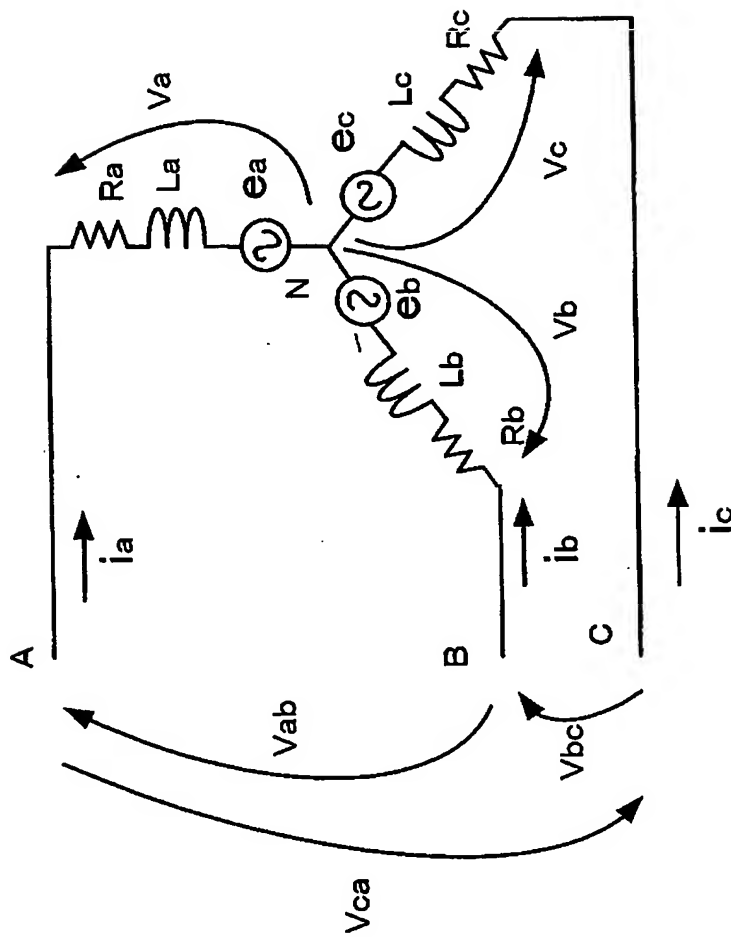
200 ロータ位置推定回路

201 伝達関数回路

- 2 0 2 減算回路
- 2 0 3、2 0 3 a 角速度算出回路
- 2 0 4 電気角算出回路
- 2 0 5 ロータ位相検出回路
- 2 0 6 減算回路
- 2 0 7 誤差角速度算出回路
- 2 0 8 誤差逆起電圧算出回路
- 2 0 9 誤差抵抗算出回路
- 2 1 0 抵抗補正回路
- 2 1 1 変化温度算出回路
- 2 1 2 ローパスフィルター回路
- 1 0 0 ベクトル制御回路
- 2 0 - 1, 2 0 - 2, 2 0 - 3 減算回路
- 2 1 P I 制御回路
- 2 2 2 相 / 3 相変換回路
- 2 3 3 相 / 2 相変換回路
- 2 4 微分回路
- 3 0 P W M 制御回路
- 3 1 インバータ
- 3 2 - 1, 3 2 - 2, 3 2 - 3 電流検出回路
- 3 3 - 1, 3 3 - 2, 3 3 - 3 電圧検出回路
- 4 8 - 1, 4 8 - 2, 4 8 - 3 ホールセンサ
- 1 モータ
- 1 1 ロータ位置検出センサ

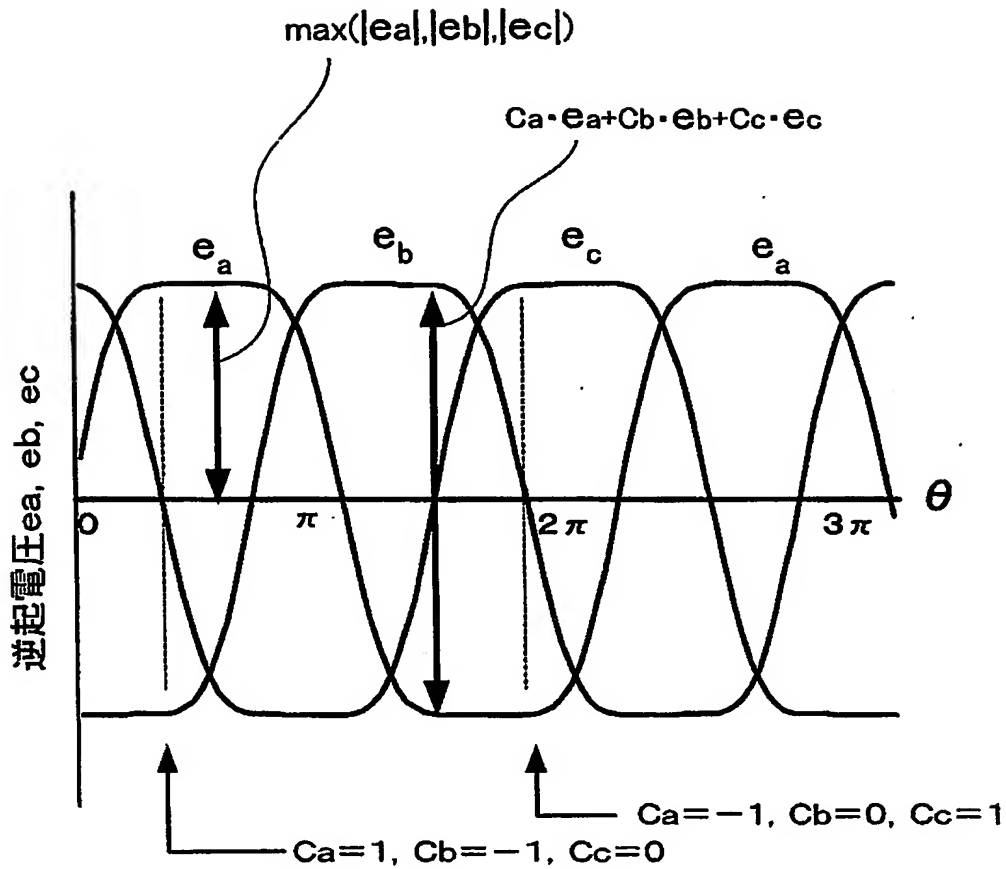
【書類名】 図面

【図 1】

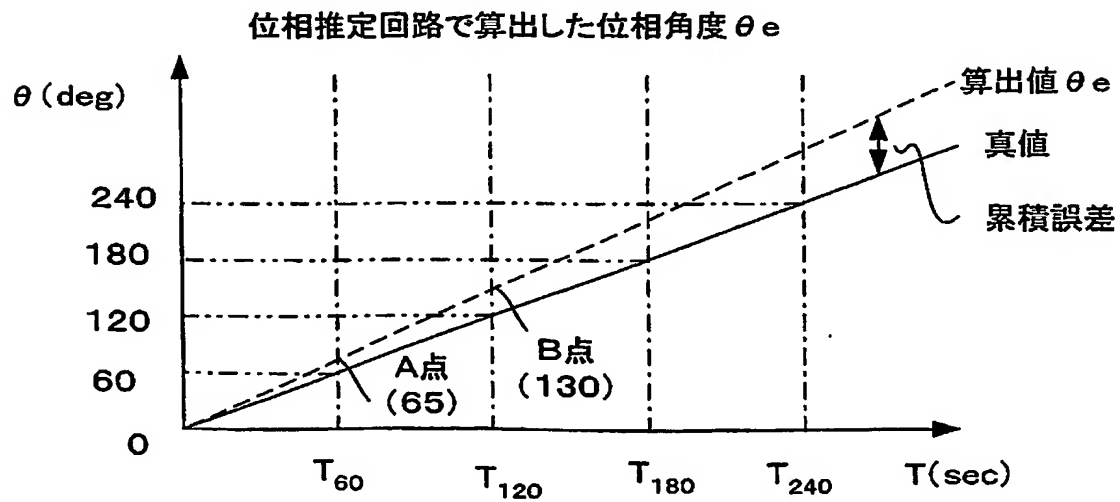




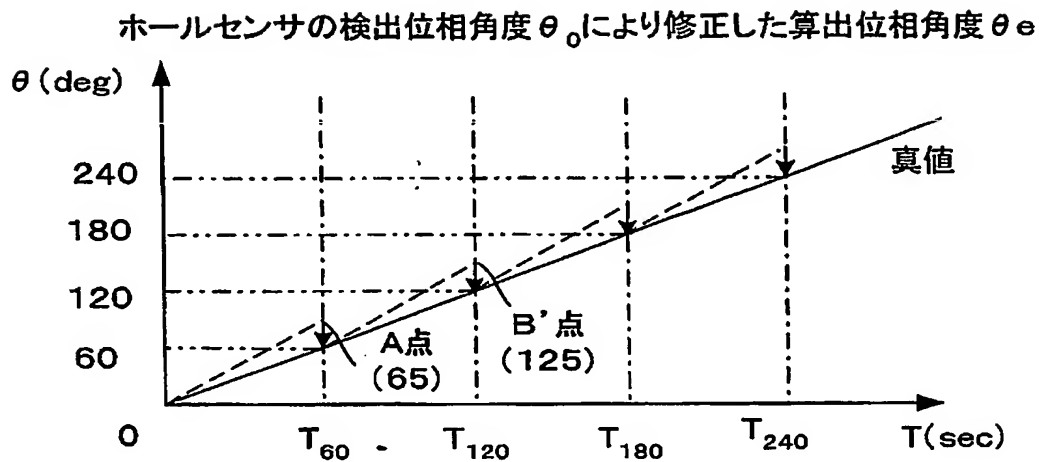
【図 2】



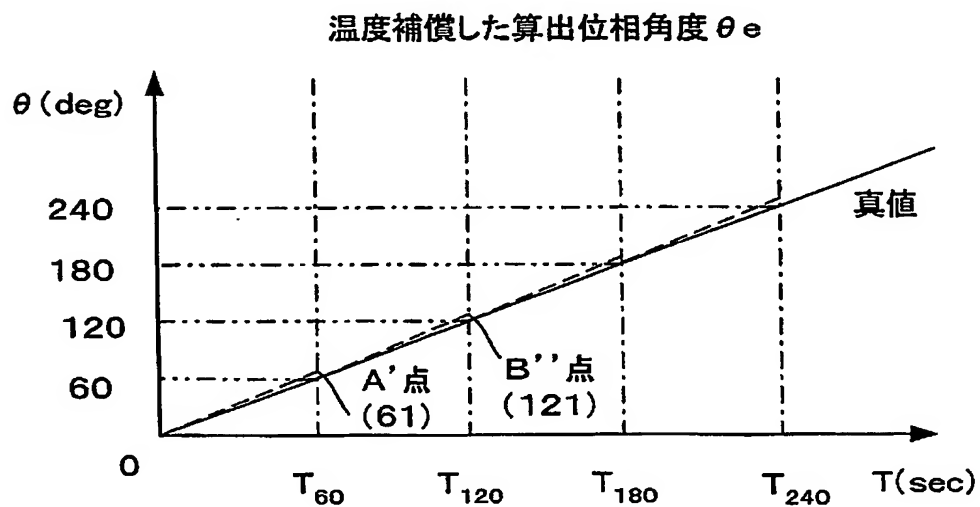
【図 3】



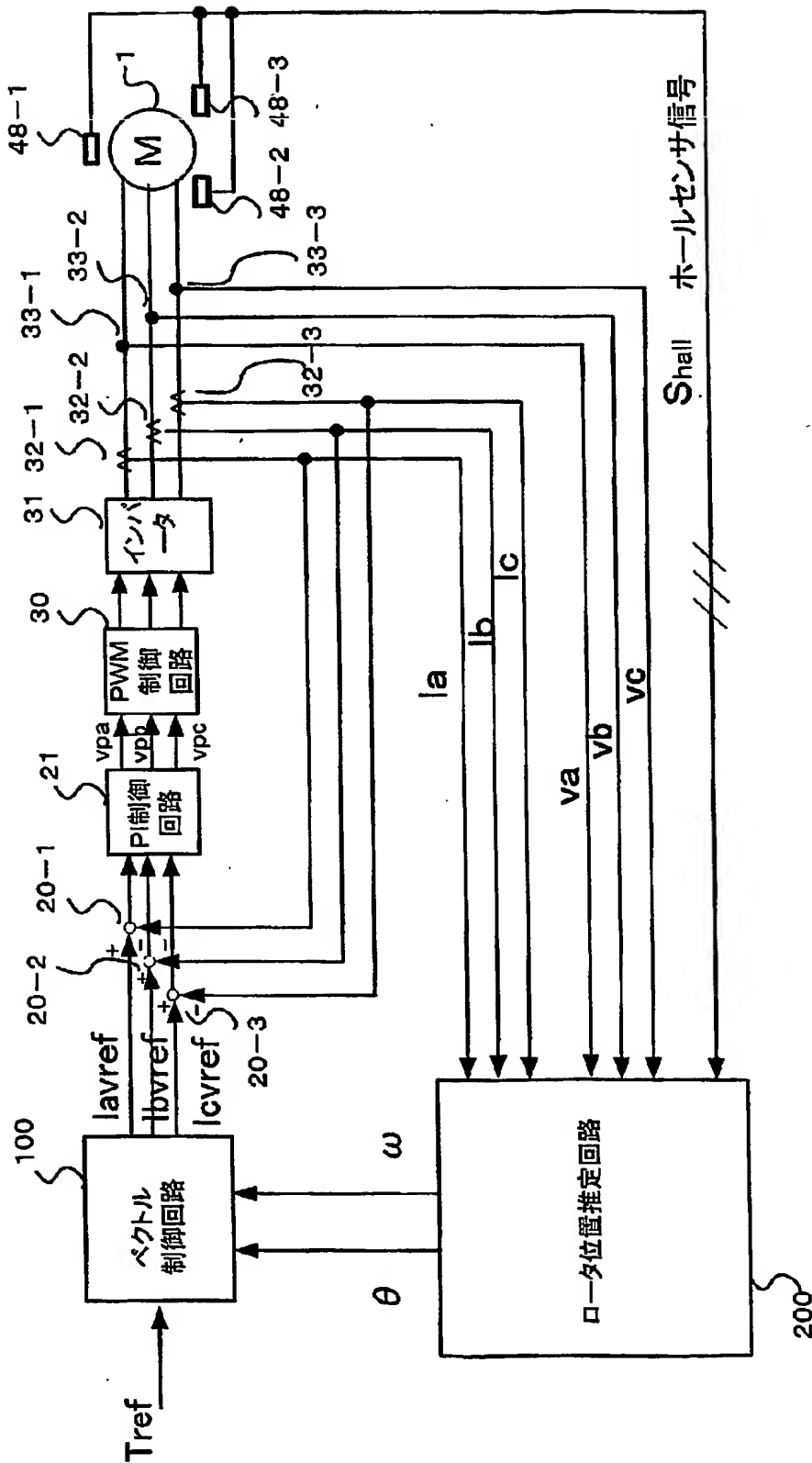
【図 4】



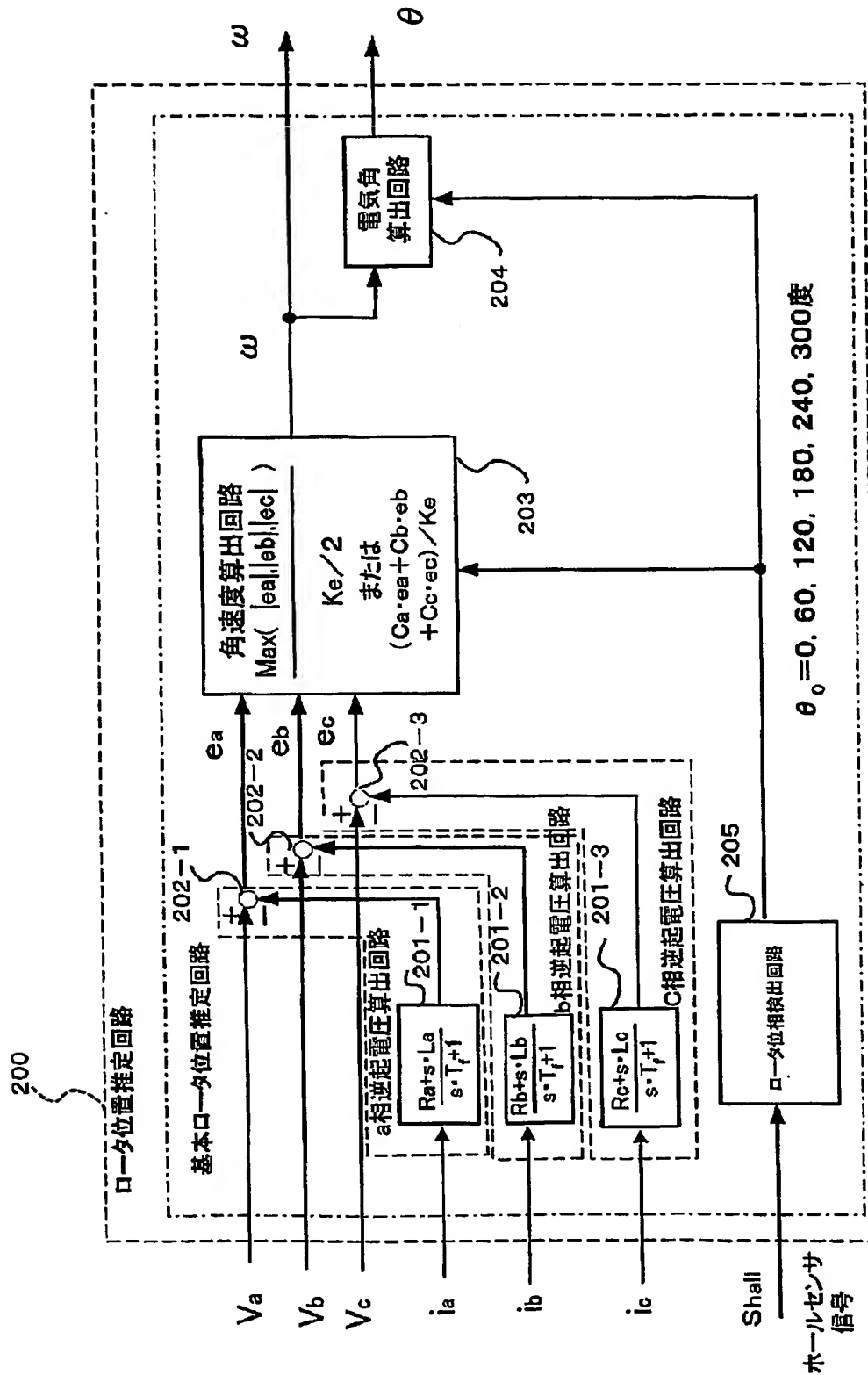
【図 5】



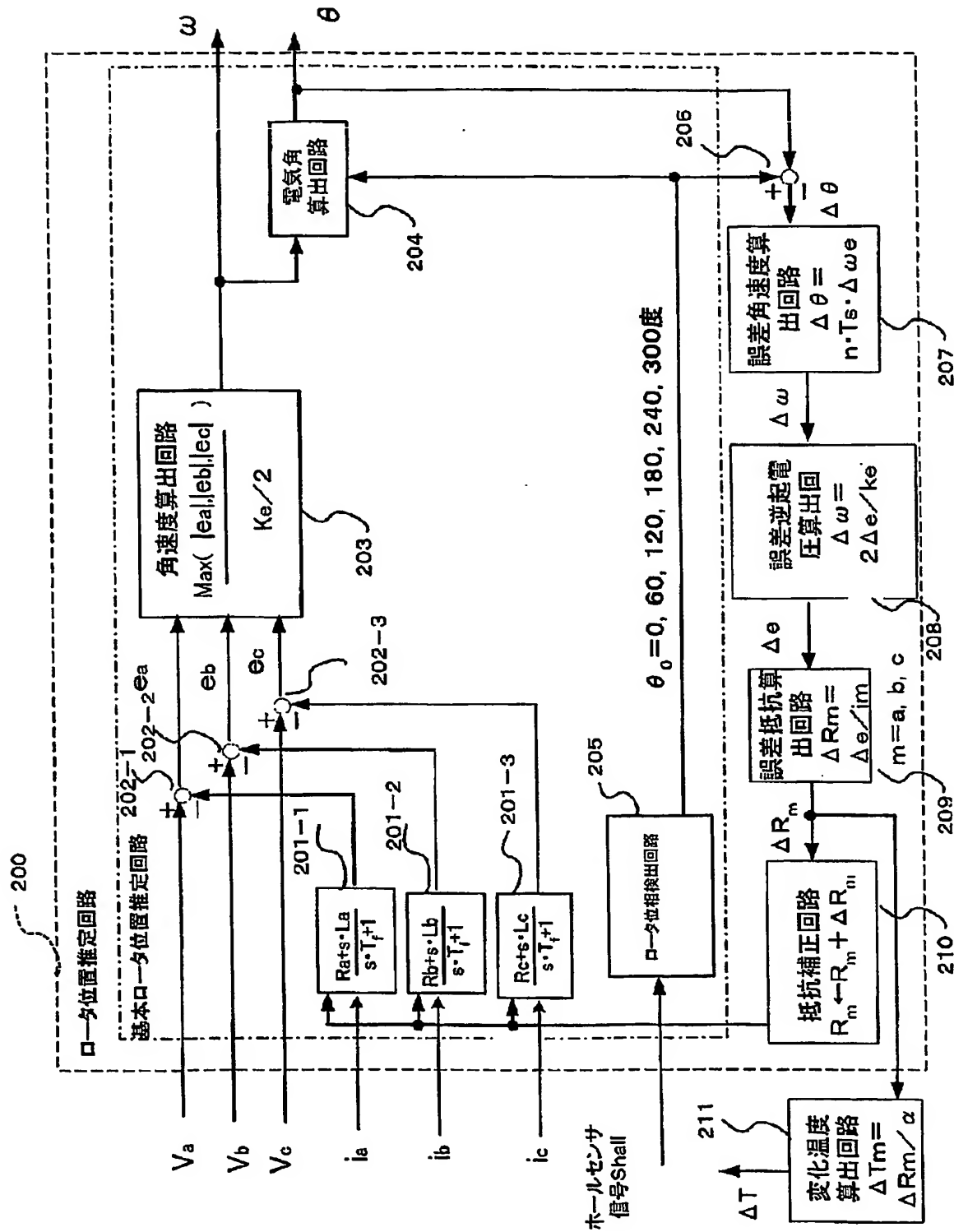
【図6】



【図7】

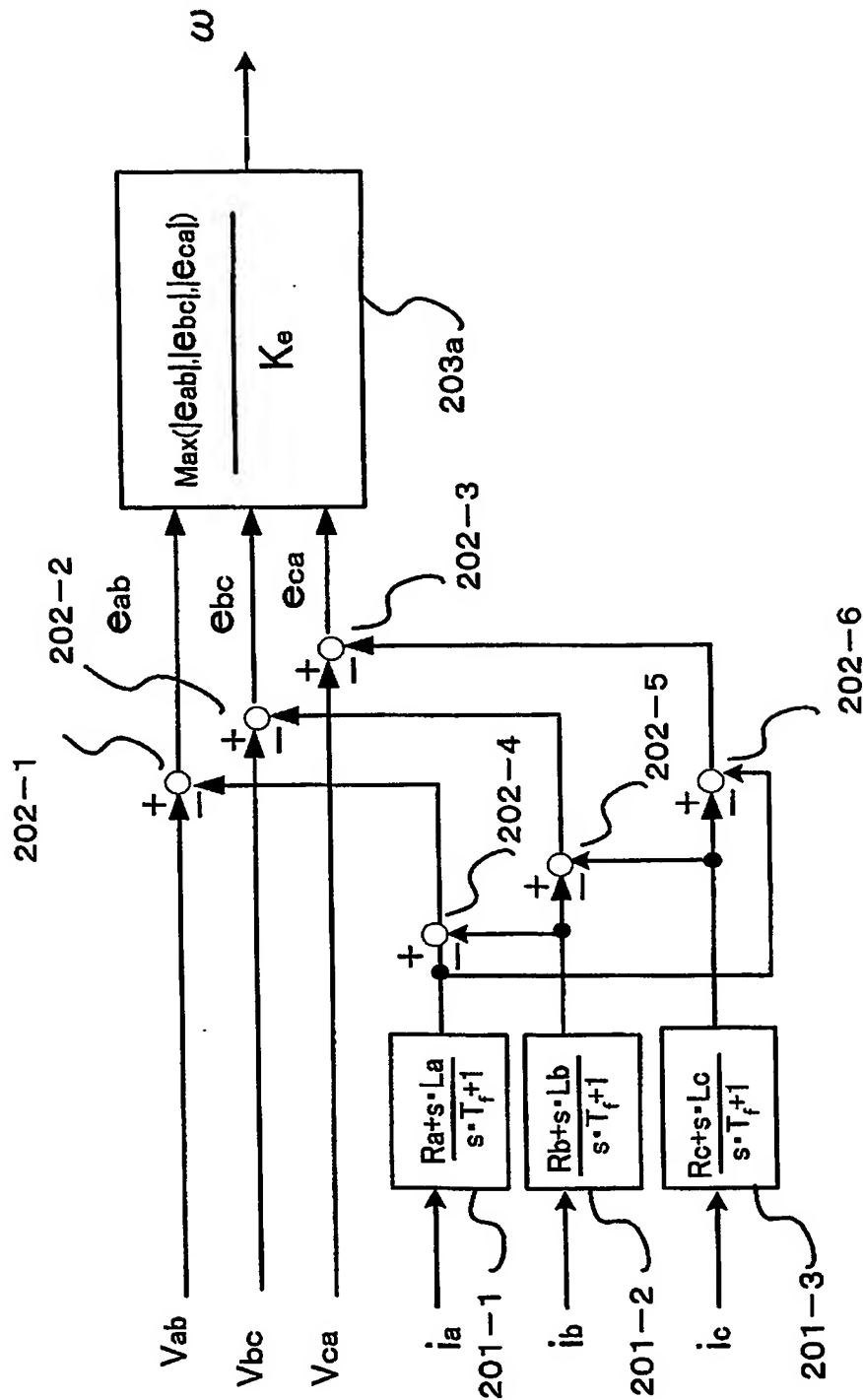


【図8】

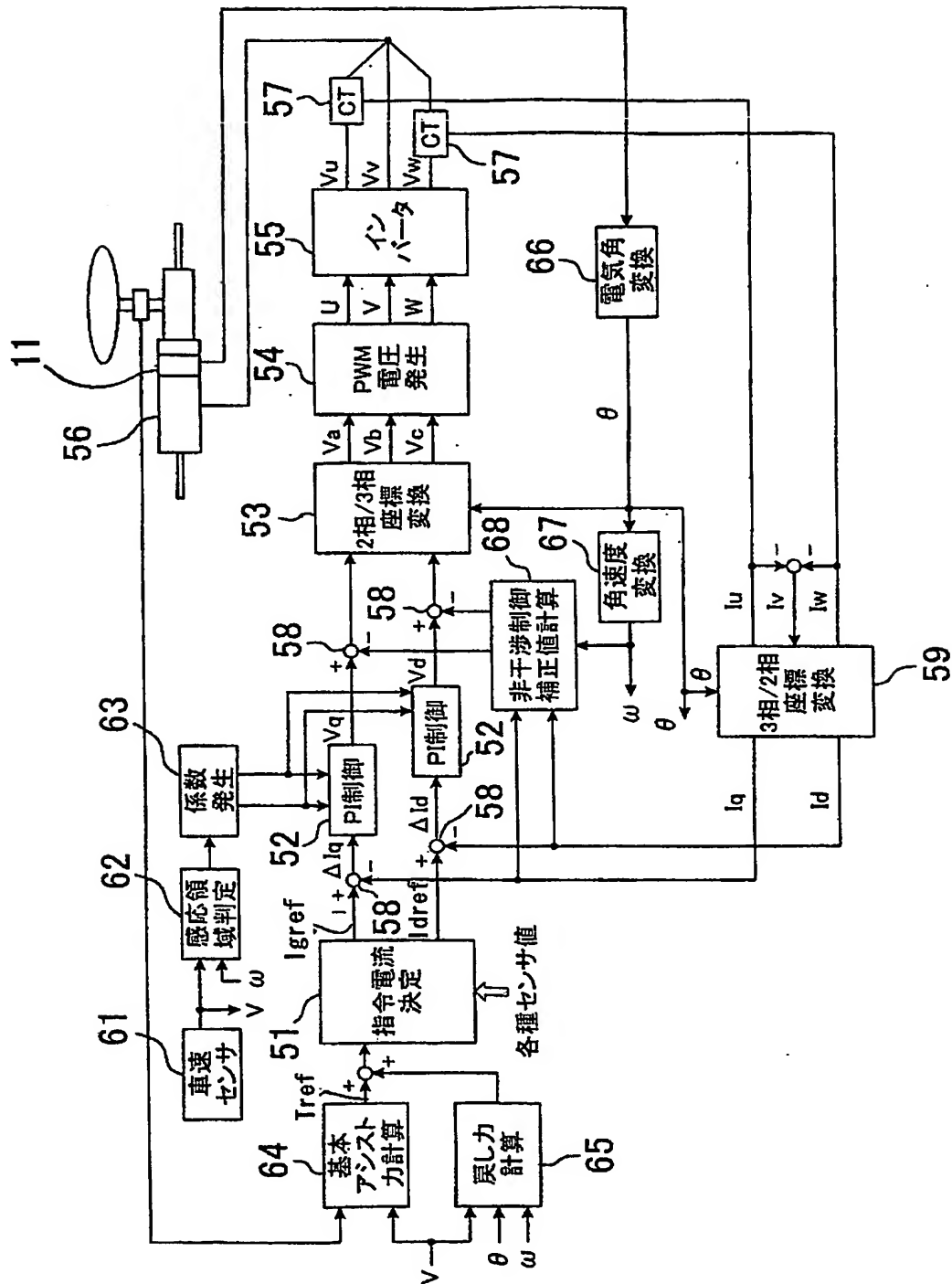




【図 10】



【図11】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電動パワーステアリング装置に用いられるブラシレスDCモータをベクトル制御する場合などロータの位置を精度良く検出する必要があるが、従来はホールセンサのような安価な位置検出センサを用いて精度良く検出することが困難であった。

【解決手段】 モータの検出電圧、電流およびモータ巻線抵抗値とインダクタンス値とから逆起電圧を算出することによりロータの電気角を算出し、電気角の算出誤差をホールセンサからの信号で定期的に修正することにより精度良くロータの位置を検出できる。

【選択図】 図7

特願 2003-101195

出願人履歴情報

識別番号

[000004204]

1. 変更年月日  
[変更理由]

住 所  
氏 名

1990年 8月29日

新規登録

東京都品川区大崎1丁目6番3号  
日本精工株式会社

特願 2 0 0 3 - 1 0 1 1 9 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 3 0 2 0 6 6 6 2 9 ]

1. 変更年月日  
[変更理由]

2 0 0 2 年 1 1 月 2 1 日

新規登録

住 所  
氏 名

東京都品川区大崎 1 丁目 6 番 3 号

NSKステアリングシステムズ株式会社